专刊：科技支撑“双碳”目标实现
S&T Supporting Realization of Carbon Peak and Carbon Neutrality Goals

关键核心技术突破
Breakthroughs in Key and Core Technologies

引用格式：吕清刚, 柴祯. “双碳”目标下的化石能源高效清洁利用. 中国科学院院刊, 2022, 37(4): 541-548.
Lyu Q G, Chai Z. Highly efficient and clean utilization of fossil energy under carbon peak and neutrality targets. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2022, 37(4): 541-548. (in Chinese)

“双碳”目标下的化石能源高效清洁利用

吕清刚[1,2*]　柴 祯[1]

1 中国科学院工程热物理研究所 北京 100190
2 中国科学院大学 工程科学学院 北京 100049

摘要 在碳达峰、碳中和（以下简称“双碳”）目标下，化石能源利用面临新挑战。文章梳理总结了目前我国化石能源利用现状，立足我国能源资源状况，提出了“双碳”约束下化石能源高效清洁利用思路，从煤炭高效燃烧与转化、石油天然气高效利用及煤化工“三废”处理方面提出技术发展建议，以期为“双碳”目标实现和新型能源系统构建提供科技支撑。

关键词 化石能源，高效清洁，低碳化，技术建议，碳中和

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.20220328001

1 化石能源支撑能源转型的地位和作用

能源是人类生存和发展的保障，是人类文明进步的基础和动力，关乎国计民生、工业生产和国家安全。作为全球最大的能源消费国，如何有效保障国家能源安全、有力保障国家经济社会发展，始终是我国能源发展的首要问题。

我国严重依赖化石能源，化石能源长期在能源系统中占主体地位（图 1）。2020 年我国全年能源消费总量为 49.8 亿吨标准煤，其中化石能源消费占比仍近 85%（煤炭、石油和天然气消费量分别占能源消费总量的 56.8%、18.9% 和 8.4%）。

我国经济快速发展是化石能源生产和消费快速增长的驱动力。自 2005 年以来，我国都是与能源相关二氧化碳（CO_2）的最大排放国。电力和工业领域是我国化石能源消费主战场，电力、钢铁、建材和化工等

*通信作者
资助项目：中国科学院战略性先导科技专项（A类）（XDA29010600）
修改稿收到日期：2022年4月6日

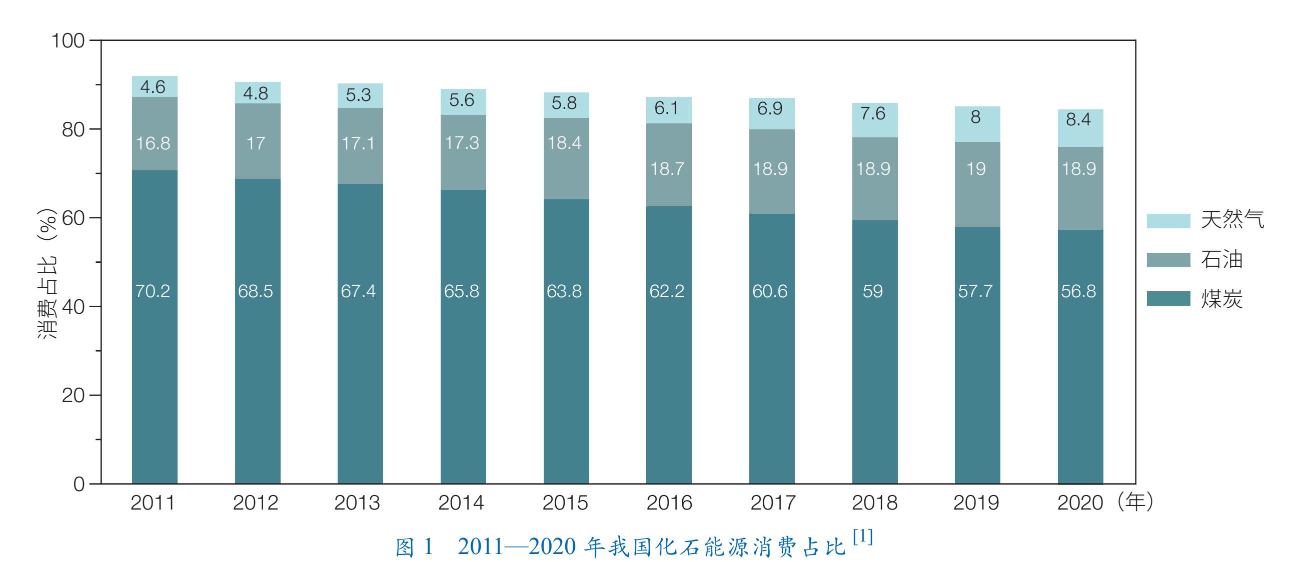


图 1 2011—2020 年我国化石能源消费占比[1]

Figure 1 China's fossil fuel proportion in energy consumption from 2011 to 2020

行业也因此成为我国 CO_2 排放大户。因此，化石能源高效利用是我国实现碳达峰、碳中和（以下简称“双碳”）目标的关键。

我国能源资源禀赋和不相适应的能源结构、错综复杂的国际环境、快速高质量发展的经济社会及应对气化变化需求等因素均要求必须坚定不移推进能源革命；特别是在“双碳”目标要求下，能源中长期发展中的 CO_2 减排任务更加明确，需要全面推进大规模开发利用清洁能源，建设多元清洁能源供应体系。化石能源仍作为主体能源，需要总量控制、有序替代；实现化石能源高效、清洁、低碳利用，是推动能源革命和转型，构建清洁低碳、安全高效能源体系的重中之重。

2 我国化石能源利用现状

2.1 燃煤发电技术

新中国成立以来，在国家持续投入和支持下，燃煤发电技术取得了长足进步，燃煤发电技术和装备不断向高参数、大容量及低排放方向发展。目前，在超超临界燃煤发电技术、循环流化床燃烧技术、常规烟气污染物超低排放技术等方面，我国已达世界先进水平；煤电机组煤耗呈逐渐降低趋势，但由于机组调峰和利用时间降低等原因，煤耗下降幅度逐步放缓（表 1）[2]。

清洁燃煤发电方面。经过 10 多年的发展，燃煤发电常规污染物排放得到有效控制。截至 2020 年底，我国共有煤电机组 4 990 台、装机容量 10.8 亿千瓦，已有超过 9.5 亿千瓦煤电机组达到超低排放限值[3]。我国已建成世界上最大的清洁燃煤发电体系，常规污染物已不再是制约燃煤发电的主要约束，目前正在向近零水平努力。

高效燃煤发电方面。过去的几十年里，煤电机组一直都在向高参数发展。先进超超临界发电技术是目

表 1 2010—2020 年我国 6 000 千瓦及以上电厂发电/供电煤耗[2]

Table 1 China's coal consumption of electricity generation and supply per kWh for 6 000 kW and above coal-fired units from 2010 to 2020[2]

	2010 年	2011 年	2012 年	2013 年	2014 年	2015 年	2016 年	2017 年	2018 年	2019 年	2020 年
发电煤耗（g/kWh）	312	308	304.8	301.6	300	297	293.9	291.3	289.9	288.8	287.2
供电煤耗（g/kWh）	333	329	324.6	321	319	315	312.1	309.4	307.6	306.4	304.9

前世界上的主要燃煤高效发电技术，其包括二次再热超超临界机组和超超临界循环流化床机组。“十五”以来，我国部署重点项目并持续支持超超临界发电技术研发与应用；“十三五”期间相继在安源、泰州、莱芜、蚌埠、宿迁、句容投产运行6个二次再热机组，蒸汽参数为31 MPa/600℃/610℃/610℃和31 MPa/600℃/620℃/620℃ 2种类型[4]，并开工建设贵州威赫和陕西彬长2台超超临界660 MW循环流化床燃煤发电机组[5]。2020年，超超临界机组占全国现役煤电机组总装机容量的26%，其中在役1 000 MW等级超超临界机组共137台，整体供电煤耗平均值为283.59 g/kWh。目前，我国已积累了超超临界发电机组设计、制造和运行等方面的丰富经验，相关技术实现了跨越式发展：整体上与国际先进水平同步，部分机组的供电煤耗和发电效率等技术指标实现世界领先，发展速度、装机容量和机组数量稳居世界首位。

2.2 工业过程燃烧技术

工业领域煤炭燃烧利用形式以燃煤工业锅炉和工业窑炉为主。

燃煤工业锅炉。我国在役燃煤工业锅炉近50万台，约占全国煤炭消费总量的20%[6]。目前，我国燃煤工业锅炉以链条炉排为主，实际运行燃烧效率、锅炉热效率低于国际先进水平15%左右。近年来，循环流化床锅炉技术也得到了很好的应用，形成35 t/h、65 t/h、75 t/h、130 t/h、240 t/h的蒸汽锅炉系列；另外，还有部分煤粉工业锅炉在市场上得到推广应用。较链条炉而言，循环流化床和煤粉工业锅炉热效率有很大提升，已接近90%，氮氧化物（NO_x）原始排放水平也有较大程度降低。但由于燃煤工业锅炉保有量大，目前依然存在整体能耗高、污染重的问题。

工业窑炉。煤炭是冶金、建材等基础工业的主要燃料和原料，我国工业炉窑存量巨大，但因技术和工艺装备落后等原因而普遍存在系统热效率低、能耗高、燃料适应性差、污染物原始排放浓度高等问题。以水泥为例，目前全国采用干法水泥熟料生产线数量约1 500多条；这些生产线工艺核心设备热效率普遍较低，节能潜力较大，绝大部分未实现常规污染物超低排放，且排出大量CO_2。2020年，我国水泥熟料产量15.79亿吨，水泥产量23.77亿吨，水泥行业CO_2排放占全国排放总量的近14.3%；吨水泥、吨水泥熟料CO_2排放量分别约为616.6千克、865.8千克[7]，减排任务艰巨。因此，工业窑炉领域急需变革性技术，以推动节能环保和有效提高资源利用率的方向发展。

2.3 煤炭转化技术

2020年我国煤化工（含焦化）用煤约7.97亿吨标准煤，占全国煤炭消费量的28%左右。按照煤转化为化工产品的生产过程产生的CO_2估算，年排放CO_2约6.77亿吨，占全国碳排放量的5.75%左右[8]。

近10年来，我国煤炭转化技术进步较为显著，主要发展了煤制清洁燃料（如煤制油和煤制天然气等）和大宗及特殊化学品（如煤制甲醇、烯烃、乙二醇等）两大类技术与产品。我国煤气化装置最大单台煤处理能力已达到4 000吨/天，支撑了现代煤化工的发展。

煤制清洁燃料。煤制油方面，一批拥有自主知识产权的技术示范工程相继建成投产运行。目前已建成的10套煤制油项目，成功运行了400万吨/年煤间接液化、108万吨/年煤直接液化等重大项目。煤制天然气方面，我国已建成4套煤制天然气示范及产业化项目，但低成本煤气化技术和甲烷化技术仍处于研究开发阶段，因此煤制合成天然气产品经济效益差，限制了推广应用。

煤制大宗及特殊化学品。煤制烯烃、煤制乙二醇等技术获得突破性进展，已建成32套煤（甲醇）制烯烃、24套煤制乙二醇示范及产业化推广项目[9]，成功运行了137万吨/年煤制烯烃等大型现代煤化工装置[10]。

我国煤化工技术总体处于世界领先水平，但煤耗大、固废难处理、碳排放问题突出仍是我国煤化工发展面临的问题。在煤转化耦合利用、煤制特种燃料、煤制含氧化合物等高值化合物及可降解材料方面，仍需进一步突破关键技术，形成先进成套工艺技术，实现煤炭清洁高效利用，保障油气安全。

2.4 石油、天然气利用技术

2020 年，我国石油、天然气行业的碳排放量占碳排放总量的 20.8%，“双碳”目标下，减排压力较大。

石油。石油石化产业链的上、下游碳排放占比较高，其中石油开采和炼化是突出的高耗能、高排碳过程[11]；在石油下游应用中，石油燃料属性的利用占据主要地位，而化工品比例占比较低（一般不到 20%）[12]。“双碳”目标下，随着能源消费由燃料向电气化发展，未来石油在终端消费中的燃料属性将被大幅弱化，交通用油等传统石油利用模式将逐步被电气化方式所替代。因此，石油利用过程面临能效提升、大幅减碳和产品结构深度调整压力。

天然气。天然气利用途径主要是作为城市燃气、工业燃料与原料。城市燃气主要用于居民生活、采暖，以及车用压缩天然气（CNG）等；天然气的工业应用主要包括冶金、建材和化工领域；天然气发电主要用于调峰电厂和分布式热电联产。“双碳”目标下，一方面天然气利用过程面临提效降碳挑战，另一方面天然气可在能源主体由化石能源向非化石能源过渡的过程中积极发挥“桥梁”作用。

3 “双碳”目标下化石能源利用面临新挑战

挑战 1：迫切需要煤电灵活调峰平抑可再生能源的间歇性和波动性，保障电力稳定安全。构建以新能源为主体的新型电力系统是实现“双碳”的基础、关键与核心，煤炭的能源地位将从“主体”向“基础”再向“保障”转变。针对可再生能源电力的波动性、随机性、间歇性等特点，长期大容量的先进储能技术尚未出现，燃煤发电需要充分发挥在能源体系中的“稳定器”和“压舱石”作用，在能源结构转型过程中为电网大比例消纳可再生能源提供灵活调峰能力。但是，现有燃煤发电机组是按基本负荷设计的，难以在宽负荷和快速变负荷方式运行，从而造成我国电力系统灵活性资源严重不足，影响电力稳定安全。迫切需要研发和推广燃煤发电机组灵活调峰技术，满足电网对可再生能源消纳的重大需求。

挑战 2：煤炭作为基础工业的主要燃料和原料，迫切需要低碳化和高效利用，保障产业链安全。煤炭是冶金、建材等基础工业的主要燃料和原料。目前，我国工业锅炉及炉窑存量巨大，普遍存在系统热效率低、能耗高、污染严重等问题，同时排出大量 CO_2；降低碳排放对产业链生产用能造成挑战。必须加大节能减排力度，提升能源利用效率，从源头上降低碳排放强度。

挑战 3：国际形势复杂，迫切需要煤制油/气化学品补充替代进口，保障国家油气安全。我国煤化工承担着能源安全保障的作用，特别是在当前复杂的国际形势下，煤制油/气化学品、实现油/气补充替代进口，是保障国家油/气安全的刚需。但是，我国煤化工行业存在煤化工工艺流程过长，投资与运行成本过高；生产工艺过程中能耗高、碳排放量大；产品结构不尽合理，在差异化和高端化方面存在不足，产品灵活性不够；煤化工的“三废”（废水、废气、固体废物）处置费用高等问题。在“双碳”背景下，煤化工必须加快转型升级，走工艺低碳、产品高端之路。

挑战 4：“双碳”目标下，油/气地位重新定义，面临利用属性转变、产品高端化、低成本化等挑战。“双碳”目标下，天然气作为最清洁的化石能源，将保持快速发展，并将成为化石能源向新能源过渡的“桥梁”，在未来全球能源发展中发挥支柱作用；但是，其利用面临进一步能效提升和减碳挑战。石油消

费逐步降低，并回归原料属性，石油利用面临产品高端化、成本进一步降低等挑战。

4 “双碳”目标下化石能源高效清洁利用思路

“双碳”目标和能源革命背景下，在建立新能源体系过程中，各种能源的比较优势将取决于其本身技术创新的进展情况。要立足以煤为主的基本国情，推动煤炭等化石能源清洁高效利用，分阶段实现能源供应主体的转变。通过对煤炭、石油、天然气等化石能源利用技术的变革性创新，加快煤炭资源从燃料属性向原料和燃料耦合属性转变；开展发电、工业用能和化工等煤炭燃烧与转化利用典型过程的技术革新与示范，以及天然气燃烧高值化利用技术革新与示范，进一步提升石油原料使用属性；促进化石能源与可再生能源互补融合，实现系统能效提升，保障我国能源安全和产业链安全，促进我国能源及相关工业低碳化发展。

5 “双碳”目标下化石能源高效清洁利用技术发展建议

化石能源高效清洁利用技术是国家能源结构转型的关键，是有效支撑“双碳”目标实现的关键手段和途径。在能源革命和“双碳”目标新形势背景下，大力发展化石能源高效清洁利用技术，推动煤炭高效燃烧和转化、石油天然气高效利用及煤化工“三废”处理技术研究和应用，强化化石资源的燃料与原料属性的耦合，对实现国家能源结构转型意义重大。

5.1 煤炭高效燃烧与低碳转化技术

现阶段，煤炭仍然是我国主体能源，技术变革与创新、技术改造和挖潜是煤炭的清洁高效利用的主要着力点，国家能源局出台的煤电机组改造升级实施方案中的“三改联动”就是具体的扶持政策。“双碳”目标下的能源转型过程中要实现煤炭利用破立结合，需要大力发展适用于碳达峰、碳中和的典型工业过程煤炭利用变革技术，强化煤炭燃料与原料属性，提高存量煤炭利用水平，安全、有序推动煤炭高效低碳技术研发与应用。在此目标和背景下，中国科学院部署战略性先导科技专项（A类）“煤炭清洁燃烧与低碳利用”，以煤炭的高效低碳利用为目标，以强化煤炭燃料属性与原料属性的耦合利用和设备过程强化为手段，加强关键技术研发和工程验证，推动技术工程示范，实现煤炭减量化、低碳化、清洁化利用，为构建安全高效、低碳清洁的能源体系提供技术支撑。

（1）燃煤锅炉灵活调峰技术。 可再生能源发电的快速发展为我国能源系统低碳转型注入新的活力。由于可再生电力的波动性和间歇性，影响电力系统安全稳定运行。在目前尚无大规模、低成本、长周期的先进储能技术可用状况下，迫切需要煤电深度灵活调峰技术，以满足可再生能源大规模接入电网的需求。加快开发和应用燃煤锅炉深度灵活调峰技术、超低负荷稳燃技术、高效灵活电-热双供技术等，实现锅炉深度调峰与快速变负荷，为可再生能源发电高比例接入电网保驾护航。特别是2030年以后，煤炭逐步向基础能源和保障能源过渡。随着可再生能源的深入发展，煤电深度调峰逐步向高灵活性和全负荷范围调峰的方向发展，应利用变革技术建造新型调峰发电机组来保障可再生能源的接入，从而在高度灵活智能的前提下，实现清洁高效经济运行，支撑新能源系统的构建及“双碳”目标的实现。

（2）工业过程高效燃烧技术。 清洁高效燃烧技术是实现提升能源利用效率、有效降低碳排放强度的有效手段。针对冶金、建材等典型高耗能、高排放工业过程的节煤、降碳、减排等重大需求，突破气化-燃烧、富氧/全氧燃烧、多污染物协同脱除等关键技术，完成典型流程的工业示范，实现高效低碳燃烧利用，从而推动工业用煤领域燃烧技术变革，节能增效。同时，推动冶金、建材等高耗能行业与煤化工的结合，充分发挥煤炭直接和间接转化技术优势，促使高耗能和高耗煤行业技术变革。例如，从焦炭高炉炼铁转型

到还原冶炼工艺，可大幅度减少CO_2排放。

（3）工业过程/流程低碳耦合关键技术。充分发挥煤炭的能源属性和物质属性，重点突破高耗煤/高耗能行业间、流程/过程间的物质和能量的耦合瓶颈，形成煤电-可再生发电、煤化-冶金、煤化-石化、多过程联产等系列高效低碳耦合利用技术，完成典型工业示范；推动煤炭由燃料属性向燃料与原料属性耦合转变，实现系统综合能效提升和CO_2减排。其中，燃煤发电与可再生能源耦合发电方面，推动发展煤与生物质耦合发电，可实现生物质发电效率提高15—20个百分点，达到超超临界发电水平；而燃煤发电与太阳热耦合发电，可以充分利用低品位的太阳热来减排CO_2。煤化-冶金耦合方面，开发甲醇-钢厂煤气制乙酸乙酯技术，可充分利用钢铁厂的尾气（主要是焦炉煤气、转炉煤气），通过提纯形成合成气原料，实现冶金尾气原料化，具有显著的降碳、固碳及增效效益。煤化-发电方面，推动煤化工与燃煤发电耦合，充分发挥煤炭的燃料属性和原料属性，实现电力和化学品联合灵活生产，既满足灵活调峰，又满足大幅度减排CO_2的需求。此外，可通过甲醇石脑油耦合制烯烃技术、铁锰矿定向还原焙烧技术等实现煤化-石化、多过程联产等多过程低碳耦合。

（4）煤炭高效转化技术。煤炭转化方面发展空间很大，主要针对目前煤转化过程中二氧化碳排放高、系统能效低、影响国家能源安全的特种油品及高端化学品不足等问题，提出煤炭转化新路径，加快推进低碳气化、先进催化、含氧化合物制备、高端化学品及特种油品合成等关键技术研究和示范。一方面，发展煤炭清洁经济制备一氧化碳技术，逐步利用大规模可再生能源的氢源合成能源产品和化学品，实现少排甚至不排CO_2；另一方面，通过转化-合成、气化-转化-合成等过程集成，实现煤炭低碳高效高质转化，为实现“双碳”目标、保证国家油气和产业链安全提供技术支撑。

5.2 石油、天然气高效清洁利用技术

（1）石油高效利用技术。“双碳”目标下，未来对成品油的需求将急剧下降，推进炼化企业从“燃料型”向“化工型”转型是发展趋势。通过石油催化裂解生产烯烃/芳烃技术、原油直接催化裂解多产化学品技术等石油直接制备化学品技术，以及甲醇石脑油耦合制烯烃、甲醇-原油共催化裂解制烯烃等石油基与煤基原料耦合制烯烃芳烃技术，构建石油制烯烃/芳烃等化学品的新技术体系，实现其低碳、清洁、高值利用。从而提高我国基础化工原料自给率，有效推动“双碳”战略实施。

（2）天然气高效清洁利用技术。充分发挥天然气能源属性的清洁低碳优点和物质属性的原料特点。一方面，加快推进天然气高效低排放燃烧、燃气轮机联合循环发电等技术研发和示范应用，充分发挥天然气具有调节灵活、响应迅速的优点，与可再生能源协同发展，形成良性互补。另一方面，开展单活性中心甲烷无氧转化制烯烃、芳烃和甲烷/二氧化碳干气重整制合成气等天然气制备化学品技术，实现天然气高效、清洁、高值化利用，有效支撑清洁低碳、安全高效现代能源体系构建。

5.3 煤转化及石油采炼过程“三废”处理技术

在我国化石资源利用过程中，仍然有废水、废气、固体废物大量排放，存在处理成本高、环境污染严重等问题。迫切需要突破规模换低成本关键技术的瓶颈。

（1）废水处理方面。推动煤化工废水低成本处理及资源化利用，开展催化臭氧氧化、催化湿式电氧化、酚油协同萃取及高效生化处理等关键技术研究，并进行工程示范和应用。

（2）废气处理方面。重点突破NO_x和挥发性有机物（VOCs）等多种污染物协同脱除技术，进行污染物系统高效脱除催化剂开发和应用，进行废气催化净化处理工程示范。

（3）固废处理及资源化方面。推动大宗化石资源的固废资源化、高值化及低碳化利用，开发气化灰渣焚烧利用、废液与废固高温熔融高质化、油泥高质化利用等关键技术，完成工程示范和推广应用。

6 结语

在“双碳”目标下，我国能源发展面临煤炭所占比重偏高、油气供应对外依赖度过高、碳排放强度高、可再生能源供给严重不足等问题。需要以变革技术推动化石能源利用发展，特别是突破化石能源的燃料属性与原料属性耦合技术，以及行业间耦合技术，固碳减排，促进化石能源与新能源协同融合发展，为新能源发展提供支撑。

我们相信，随着煤炭清洁高效利用技术研发的深入，会产生出一批经济低成本的先进产业技术，为能源和产业转型、保障产业链安全作出贡献，为实现“双碳”目标提供技术支撑。

参考文献

1 国家统计局. 中国统计年鉴. 北京: 中国统计出版社, 2021.
Statistics Bureau of the People’s Republic of China. China Statistical Yearbook 2021. Beijing: China Statistical Press, 2021. (in Chinese)

2 中国电力企业联合会. 中国电力统计年鉴2021. 北京: 中国统计出版社, 2021.
China Federation of Electric Power Enterprises. China Electric Power Statistics Yearbook 2021. Beijing: China Statistical Press, 2021. (in Chinese)

3 黄润秋. 深入贯彻落实十九届五中全会精神 协同推进生态环境高水平保护和经济高质量发展. (2021-02-01). http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202102/t20210201_819774.html.
Huang R Q. In-depth implementation of the spirit of the Fifth Plenary Session of the Nineteenth Central Committee to promote high-level protection of the ecological environment and high-quality economic development. (2021-02-01). http://www.mee.gov.cn/xxgk2018/xxgk/xxgk15/202102/t20210201_819774.html. (in Chinese)

4 王月明, 牟春华, 姚明宇, 等. 二次再热技术发展与应用现状. 热力发电, 2017, 46(8): 1-10.
Wang Y M, Mu C H, Yao M Y, et al. Review of the development and application of double-reheat power generation technology. Thermal Power Generation, 2017, 46(8): 1-10. (in Chinese)

5 王哮江, 刘鹏, 李荣春, 等. “双碳”目标下先进发电技术研究进展及展望. 热力发电, 2022, 51(1): 52-59.
Wang X J, Liu P, Li R C, et al. Research progress and prospects of advanced power generation technology under the goal of carbon emission peak and carbon neutrality. Thermal Power Generation, 2022, 51(1): 52-59. (in Chinese)

6 吕清刚, 李诗媛, 黄粲然. 工业领域煤炭清洁高效燃烧利用技术现状与发展建议. 中国科学院院刊, 2019, 34(4): 392-400.
Lyu Q G, Li S Y, Huang C R. Current situation and development suggestions of coal clean and efficient combustion technology in industry field. Bulletin of Chinese Academy of Sciences, 2019, 34(4): 392-400. (in Chinese)

7 丁美荣. 水泥行业碳排放现状分析与减排关键路径探讨. 中国水泥, 2021, (7): 46-49. (in Chinese)
Ding M R. Analysis of carbon emissions and key paths of emission reduction in cement industry. China Cement, 2021, (7): 46-49.

8 相宏伟, 杨勇, 李永旺. 碳中和目标下的煤化工变革与发展. 化工进展, 2021, doi: 10.16085/j.issn.1000- 6613.2021-2314. (in Chinese)
Xiang H W, Yang Y, Li Y W. Transformation and development of coal chemical industry under the goal of carbon neutralization. Chemical Industry and Engineering Progress, 2021, doi: 10.16085/j.issn.1000-6613.2021-2314. (in Chinese)

9 “十三五”石油和化工行业发展报告（摘编）. 煤化工, 2020, 48(6): 71-73.
13th Five-Year Development Report on the Petroleum and Chemical Industries (Excerpt). Coal Chemical Industry, 2020, 48(6): 71-73. (in Chinese)

10 徐振刚. 中国现代煤化工近25年发展回顾·反思·展望. 煤

炭科学技术, 2020, 48(8): 1-25.

Xu Z G. Review, rethink and prospect of China's modern coal chemical industry development in recent 25 years. Coal Science and Technology, 2020, 48(8): 1-25. (in Chinese)

11 任秀芳. 浅论石油炼化企业碳达峰与碳中和路径. 资源节约与环保, 2021, (10): 115-117.

Ren X F. Discussion on carbon peak and neutralization path of petroleum refining and chemical enterprises. Resources Economization & Environmental Protection, 2021, (10): 115-117. (in Chinese)

12 李玲. 石油利用"去能源化"加速. 中国能源报, 2021-10-25(02).

Li L. Accelerated de-energyization of oil utilization. China Energy News, 2021-10-25(02). (in Chinese)

Highly Efficient and Clean Utilization of Fossil Energy under Carbon Peak and Neutrality Targets

LYU Qinggang[1,2*] CHAI Zhen[1]

(1 Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China;

2 School of Engineering Science, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract Fossil energy utilization faces new challenges under carbon peak and carbon neutrality ("dual carbon" for short) targets. In this study, the present status of fossil energy utilization in China is summarized. Based on the situation of energy resources in China, the idea of highly efficient and clean utilization of fossil energy under dual carbon constraint is proposed. The technical development suggestions are put forward from three aspects including high efficient combustion and conversion of coal, high efficient utilization of oil and gas, and waste treatment of the chemical processing of coal. It aims to provide scientific and technological support for the realization of dual carbon targets and the construction of a new energy system.

Keywords fossil energy, highly efficient and clean utilization, low carbonization, technical suggestion, carbon neutrality



吕清刚 中国科学院工程热物理研究所研究员、博士生导师，中国科学院特聘研究员。主要从事煤炭的清洁高效燃烧和热解气化转化技术及产业化应用等相关研究。国家重点研发计划"煤炭清洁高效利用和新型节能技术"专项总体专家组成员。主持中国科学院战略性先导科技专项（A类）"煤炭清洁燃烧与低碳利用"研究。在国内外期刊上发表论文150余篇，申请发明专利200余件。E-mail: qglu@iet.cn

LYU Qinggang Professor and Doctoral Supervisor of the Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences (CAS). Prof. Lyu is now the project leader of the Strategic Priority Research Program of CAS—Clean Combustion and Low Carbon Utilization of Coal. He is currently engaged in technologies concerning clean coal combustion, coal pyrolysis and gasification, and their applications. He has published more than 150 papers and has applied more than 200 patents. E-mail: qglu@iet.cn

■责任编辑：岳凌生

*Corresponding author